

Etude aérodynamique et acoustique des occlusives emphatiques et non-emphatiques de l'arabe marocain

Chakir ZEROUAL

LABORATOIRE DE PHONOLOGIE
CP 175, Av. F.D Roosevelt 50. B-1050 Bruxelles
Tél.: ++32 (2) 650 20 18
chakirzeroual@yahoo.fr

ABSTRACT

In this paper we describe the aerodynamic and acoustic properties of Moroccan Arabic emphatic [T D q] and non-emphatic [t k b d g] stops in the vocalic context -aCa-. Our acoustic data show that the VOT of [T q] is much shorter than that of [t k], although there is no significant difference between the maximum values for intra-oral pressure (IOP) during the occlusion of [t k T q]. IOP is higher in the voiceless stops than in the voiced ones. After the release of the occlusion, the airflow is greater and the duration of decay of IOP much longer in [k t] than in [q T b d D g]. [d] and [D] have similar maximum values for IOP. Based on these aerodynamic and acoustic data, we demonstrate that [T q] are voiceless unaspirated stops, whereas [t k] are voiceless aspirated stops.

1. INTRODUCTION

L'arabe marocain (AM) possède quatre occlusives sourdes [t T k q] qui sont généralement décrites comme des non-aspirées et quatre occlusives sonores [b d D g] (tableau 1). Les occlusives coronales se répartissent en deux catégories : non-emphatiques [t d] et emphatiques [T D].

Les emphatiques [T D] possèdent une articulation principale (coronale) identique à celle de [t d], et une articulation secondaire qui est généralement caractérisée comme une "pharyngalisation" ou une "uvularisation" [Zer00]. [q] est considérée par plusieurs auteurs comme une emphatique "secondaire" [Can60].

Les analyses phonétiques [Zer00] montrent que la durée du Vot de [t k] est plus importante que celle de [q T] (tableau 1). Notons que cette asymétrie entre [t k] et [T q], par rapport à la durée du Vot, est observée dans d'autres dialectes arabes modernes. Plusieurs arguments montrent qu'elle était développée même en arabe classique [Gha77].

[Hea87], dans une étude phonologique d'un parler du centre du Maroc, pose que [k] est une aspirée, [t] est une laminaire produite avec un « léger relâchement affriqué » et [q] est une consonne glottalisée. [Odi87] propose la même analyse pour le [q] de l'arabe jordanien (Vot = 14 ms). Ajoutons que certains parlers arabes ont une occlusive glottale à la place de [q] [Can60]. [Mar48]

souligne que le [T] d'un parler algérien est produit alors que « la glotte est fermée avant même l'explosion ». [Gha77] considère que [k t] en arabe classique et dans les dialectes arabes modernes sont des consonnes occlusives aspirées et [T q] des plosives non-aspirées.

Nous présentons, ici, les résultats d'une analyse aérodynamique et acoustique des consonnes occlusives de l'AM. Nous vérifierons, principalement, si les emphatiques primaires [T D] et l'emphatique secondaire [q] possèdent-elles des propriétés aérodynamiques qui les distinguent de leurs correspondantes non-emphatiques respectives [t d k].

2. MATÉRIEL ET MÉTHODE

2.1 Sujets

Trois locuteurs de la ville d'Oujda (Maroc oriental), âgés de 30 ans en moyenne, ont participé à cette expérience.

2.2 Corpus

Tous les items que nous avons retenus sont de la forme [ma₁+C₁a₂C₂+f]. [ma _ f] est un morphème discontinu de négation qui s'ajoute aux formes verbales bases [C₁aC₂] : [matabf] "se repentir" [maTabf] "cuire" [makanf] "être" [maqasf] "toucher" [mabatf] "passer la nuit" [madabf] "dissoudre" [maDamf] "damer" [magalf] "dire". Chaque item a été placé dans la phrase cadre [gal _ telt marrat] "il a dit _ trois fois", et répété 5 fois.

2.3 Procédures

La pression intraorale (Pio) et le débit d'air buccal (Dab) ont été enregistrés simultanément avec le signal audio à l'aide de la station Physiologia [Tes95]. Pour la mesure de la Pio, un tube flexible a été inséré dans la cavité pharyngale via la cavité nasale de deux locuteurs. Pour la mesure du Dab (3 locuteurs), nous avons utilisé un masque étanche qui recouvre uniquement la bouche.

Sur les tracés de la Pio et du Dab correspondant à C₁ des items [ma₁C₁a₂C₂f], nous avons relevé les valeurs suivantes :

(i) [Dm] la durée entre le point où la Pio commence à monter rapidement par rapport à sa valeur durant [a₁] jusqu'à devenir relativement stable ou atteindre sa valeur

maximale. (ii) [Dr] la durée à partir de la valeur maximale de la Pio jusqu'au point où elle atteint le niveau qu'elle possède durant [a₂]. (iii) [Pio] la valeur maximale de la pression pharyngale. (iv) [Dab] la valeur maximale du débit d'air buccal.

Les durées du Vot des occlusives sourdes ont été mesurées.

3. RÉSULTATS

Les mesures aérodynamiques ainsi que les valeurs du Vot sont regroupées dans le tableau 2 (valeurs maximales de la Pio et du Dab); le tableau 3 (durée des différentes phases de la courbe de la Pio) et le tableau 4 (Vot).

Quatre tests ANOVA à un seul facteur montrent que les valeurs de la Pio ($F(7; 72) = 16,600$; $p < 0,001$), de la Dm ($F(7; 72) = 155,841$; $p < 0,001$), de la Dr ($F(7; 72) = 74,119$; $p < 0,001$) et du Dab ($F(7; 112) = 32,805$; $p < 0,001$) varient significativement en fonction de la nature de C₁. Les analyses post-hoc PLSD de Fisher indiquent que :

- les occlusives sourdes ont des Pio qui ne sont pas significativement différentes, mais supérieures à celles des sonores ($p < 0,001$). Seule la Pio de [b] est significativement inférieure à celles des autres occlusives sonores [d] ($p = 0,02$), [D] et [g] ($p < 0,01$).

- Dm de [t], [T], [k] et [q] sont significativement inférieures à celles de [b], [d], [D] et [g] ($p < 0,001$). Dm de [q] est significativement supérieure à celles de [t], [T] ($p < 0,01$). Les Dm des occlusives sonores ne sont pas significativement différentes.

- La baisse de la Pio (Dr) est significativement plus lente dans [t], [k] et [q] que dans [b], [d], [D] et [g] ($p < 0,001$). Par contre [T] possède une Dr qui n'est pas significativement différente de celles de [b], [d] et [D], elle est même plus faible que celle de [g] ($p < 0,001$). Dr de [t] et [k] sont significativement supérieures à celles de [T] et [q] ($p < 0,001$). De même, Dr de [q] est supérieure à celle de [T] ($p < 0,001$). Seule la Dr de [g] est significativement supérieure à celles de [b], [d] et [D] ($p < 0,001$).

- [t] et [k] possèdent des moyennes du Dab qui sont significativement supérieures à celles des occlusives sonores ($p < 0,001$). Par contre, les moyennes du Dab de [q] et [T] ne sont pas significativement différentes de celles de [g] et [D]. [q] et [T] possèdent des Dab qui sont mêmes significativement plus bas que ceux de [b] (q vs. b : $p = 0,014$; T vs. b : $p = 0,03$) et [d] (q vs. b : $p = 0,014$; T vs. b : $p = 0,03$). Les valeurs moyennes du Dab de [t] et [k] ne sont pas significativement différentes ($p = 0,81$), mais elles sont significativement supérieures à celles de [T] et [q] ($p < 0,001$). Le Dab de [T] n'est pas significativement différent de celui de [q] ($p = 0,78$). Seule [g] possède un Dab qui est significativement inférieur à ceux de [d] et [b].

Pour récapituler, nous pouvons dire que la Pio dans les emphatiques [T q] n'est pas significativement différente de celles des non-emphatiques [k t] (tableau 2). Les valeurs moyennes de la Pio de [T q t k] sont significativement supérieures à celles de [b d D g]. La Pio de l'emphatique [D] n'est pas significativement différente de celle de la non-emphatique [d].

La Pio augmente rapidement dans [q T], et [k t], et très progressivement dans les occlusives sonores. La baisse de la Pio est plus rapide dans [q T], et [b d D g], que dans [k t]. Les durées de la baisse de la Pio dans [d D] ne sont pas significativement différentes.

Les valeurs du Dab de [q T], et de [b d D g], sont beaucoup plus faibles que celles que nous avons dans [k t]. [q T] possèdent des Dab qui ne sont pas significativement différents de ceux de [g D]. Les Dab dans les consonnes [d D] ne sont pas significativement différents.

4. DISCUSSION

Nos analyses aérodynamiques montrent que les occlusives sourdes [p t T q] de l'AM ont une Pio qui est significativement supérieure à celle des sonores [b d D g]. De même, la Pio augmente rapidement dans les sourdes et progressivement dans les sonores. Ces différences ont été observées dans plusieurs langues [Dix85; Lis70]. Elles sont attribuées aux ajustements laryngaux et supralaryngaux développés pendant les sonores pour maintenir la vibration des cordes vocales.

La consonne emphatique [D] possède une Pio qui n'est pas différente de celle de sa correspondante non-emphatique [d]. Soulignons aussi que seule la valeur moyenne de la Pio de [b] est significativement différente, plus exactement inférieure, à celles des autres occlusives sonores [d], [D] et [g]. Ceci est dû au volume de la cavité supraglottique qui est plus important dans [b].

Les valeurs de la Pio de [q T] ne sont pas significativement différentes de celles de [t k]. Par contre, la Pio augmente d'une manière relativement plus lente dans [q] que dans [t k T]. Cette dernière différence suggère que l'abduction des cordes vocales semblent démarrer légèrement en retard dans [q] que dans [t k T]. En effet, [Mül80] ont démontré à l'aide d'un modèle aérodynamique, que lorsque les parois de la cavité supraglottique sont rigides, les différences au niveau de la synchronisation des gestes laryngaux par rapport au début de l'occlusion buccale affecte la forme de la courbe de la Pio, mais pas sa valeur maximale.

la Pio baisse plus lentement dans [k t] que dans [q] et surtout [T]. Le Dab de [k t] est plus important que celui de [q T b d D b]. Notons que le Vot de [k t] est très supérieur à celui de [q] et principalement de [T] (tableau 4). Ces données montrent une corrélation positive entre la durée du VOT, d'un côté, et celle du Dab et de la phase descendante de la Pio, de l'autre côté. La première et la

deuxième corrélation apparaissent aussi dans les résultats de respectivement [Dix85] et [Cha99 ; lis70].

Par ailleurs, plusieurs expériences [Dix89] ont montré que, dans les occlusives sourdes aspirées (Vot important, comme dans [k t] de l'AM), la glotte reste ouverte durant une période relativement longue après le relâchement de l'occlusion supraglottique. Ce qui permet, pendant le relâchement, une décharge de l'air comprimé dans la cavité sous-glottique et supraglottique. Par contre, dans les occlusives sourdes non-aspirées, notamment celles qui sont produites avec un Vot très faible, la glotte se referme immédiatement après le relâchement. Ce qui fait que, pendant le relâchement, c'est essentiellement l'air comprimé dans la cavité supraglottique qui se décharge. C'est ce qui explique, en partie, pourquoi la durée de la baisse de la Pio et le Dab sont plus importants dans [k t] que dans [q T].

[b d D] ont elles aussi une chute plus rapide de la Pio qui est due au fait que seul le volume d'air comprimé dans la cavité supraglottique se décharge après le relâchement. En effet, durant une occlusive sonore, la glotte est généralement adduquée avant, pendant et après le relâchement. La Pio de [g] baisse moins rapidement que dans [b d D] à cause, sans doute, de l'inertie plus importante du dos de la langue. En effet, la chute de la Pio est inversement proportionnelle à la vitesse d'ouverture de la constriction supraglottique [Mül80]. Cette même hypothèse explique aussi pourquoi le Dab de [g] est significativement inférieur à celui de [b d]. Cette différence peut être due aussi au volume de la cavité supraglottique de [g] qui est plus faible.

Les valeurs du Dab de [T q] ne sont pas significativement différentes de celles de [D g]. Rappelons que [T q] possèdent un Vot très faible. [Dix78] avaient eux aussi constaté, qu'en hindi, les valeurs du Dab dans les occlusives sourdes non-aspirées et sonores non-aspirées ne sont pas significativement différentes ; par contre, les occlusives aspirées possèdent des valeurs du Dab qui sont significativement supérieures à celles des non-aspirées. Nos observations confirment, donc, encore plus l'hypothèse d'une corrélation positive entre les valeurs du Vot et celles du Dab.

[Pin86] avait constaté que les occlusives éjectives possèdent généralement une Pio qui est 5 cm H₂O supérieure à celle des plosives. Puisque la Pio de [q] n'est pas significativement supérieure à celle de [k], [q] ne peut être caractérisée comme une glottalisée. [q T], sont donc, des occlusives sourdes non-aspirées, alors que [k t] peuvent être considérées comme des plosives aspirées.

5. CONCLUSION

Cette étude nous a permis de montrer que les valeurs de la Pio de l'emphatique primaire [T] et secondaire [q] ne sont pas différentes de celles des non-emphatiques [t k].

Par contre, la durée du Vot et la valeur du Dab sont plus faibles dans [T q] que dans [t k]. De même, la Pio baisse plus rapidement dans [q T] que dans [t k]. Ces observations montrent une corrélation positive entre la durée du Vot, d'un côté, et la valeur du Dab et la durée de la chute de la Pio, de l'autre côté.

Nos données aérodynamiques et acoustiques nous amènent à caractériser les emphatiques [q T] comme des occlusives sourdes non-aspirées et les non-emphatiques [k t] comme des occlusives sourdes aspirées.

6. FIGURES ET TABLEAUX

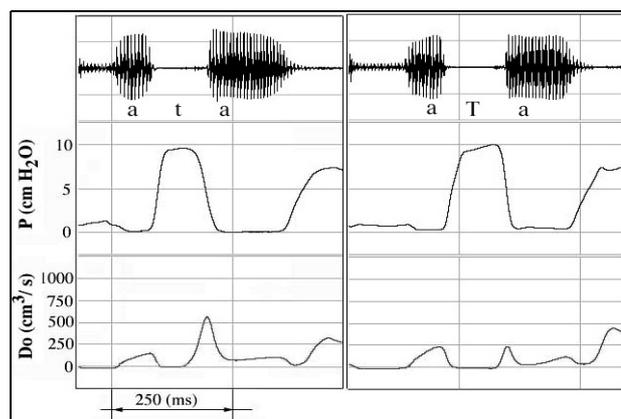


Figure 1: Tracés de la Pio et du Dab des consonnes [t T] prononcées dans les mots [matab], [maTab] (Sujet 2).

Tableau 1 : Les occlusives de l'AM avec le Vot des sourdes (ainsi que l'écart type) en ms. dans les monosyllabes [Cib]. Chaque valeur = moyenne de 50 mesures = 10 locuteurs * 5 répétitions : [Zer00].

Consonne	Sourde		Sonore
	C	Vot (ms)	C
Labiale non-emphatique			[b]
Coronales non-emphatiques	[t]	72 (13)	[d]
Coronales emphatiques	[T]	24 (16)	[D]
Vélares non-emphatiques	[k]	72 (14)	[g]
Uvulaire emphatique	[q]	40 (13)	

Tableau 2 : Moyennes du Dab et de la Pio des consonnes occlusives de l'AM produites dans le contexte -aCa- Chaque item a été répété 5 fois.

C	Débit d'air oral (cm ³ /s)				Pression intraorale (cmH ₂ O)		
	S1	S2	S3	TL.	S1	S2	TL.

[t]	370	635	529	511	7.7	9.8	8.7
	31	120	95	140	0.5	1.4	1.5
[T]	256	251	210	239	6.9	9.8	8.4
	28	40	45	41	0.3	1.3	1.8
[k]	494	515	504	505	7.3	9.1	8.2
	57	105	120	91	0.3	0.8	1.1
[q]	326	197	170	231	7.5	9.5	8.5
	66	55	22	85	0.4	0.7	1.2
[b]	289	263	356	303	4.5	4.8	4.7
	50	52	69	67	0.8	0.8	0.8
[d]	319	249	376	315	5.5	6.2	5.9
	37	40	20	62	0.6	0.5	0.7
[D]	292	249	306	282	6.3	6.7	6.5
	27	19	57	43	0.3	1.1	0.8
[g]	249	164	268	227	5.2	7.1	6.2
	19	20	34	53	0.3	1.1	1.05

Tableau 3 : Moyennes des durées : de la phase montante (Dm) et de la phase descendante (Dr) de la Pio dans les séquences -aCa-, où C est une consonne occlusive. Chaque item a été répété 5 fois.

C	S1		S2		S3	
	Dm	Dr	Dm	Dr	Dm	Dr
[t]	34	68	41	75	38	71
	4	3	4	4	5	5
[T]	36	25	37	31	36	28
	2	2	3	6	2	5
[k]	36	55	41	71	39	63
	4	4	3	4	4	9
[q]	44	43	43	63	44	53
	6	6	4	5	5	12
[b]	81	28	73	28	77	28
	4	4	5	2	6	3
[d]	78	24	74	32	76	28
	5	2	2	2	4	5
[D]	81	26	79	30	80	28
	4	2	8	3	6	3
[g]	77	42	84	49	80	46
	5	4	9	4	8	5

Tableau 4 : Valeurs moyennes (et écart type) du Vot des occlusives de l'AM produites dans le contexte -aCa-. Chaque item a été répété 5 fois.

C	S1	S2	S3	Total
[t]	49	51	51	51
	4	6	3	5
[T]	13	11	17	14
	2	2	2	3
[k]	40	48	39	43
	5	4	2	5
[q]	25	21	22	23
	4	9	5	7

BIBLIOGRAPHIE

- [Can60] Cantineau, J. (1960). *Cours de phonétique arabe*. Klincksieck, Paris.
- [Cha99] Chang, S.S. (1999) Vowel dependent VOT variation. *Proc. of 14th ICPHS* : 1021-1024.

- [Dix85] Dixit, R.P. & Brown, W.S. (1985) Peak magnitudes of oral air flow during Hindi stops (Plosives and affricates). *JoP* 13 : 219-234.
- [Dix89] Dixit, R.P. (1989) Glottal gestures in Hindi plosives. *Journal of Phonetics* 17 : 213-237.
- [Dix78] Dixit, R.P., & Brown W.S. (1978) Peak magnitudes of supraglottal air pressure associated with affricated and nonaffricated stop consonant productions in Hindi. *JoP* 6: 353-365.
- [Gha77] Ghazali, S (1977) On the Controversy of Arabic "qaf". *Texas Linguistic Forum*, N°6: 40-50
- [Hea87] Heath, J. (1987) *Ablaut and Ambiguity : Phonology of a Moroccan Arabic Dialect*. Albany, NY : State University of NY Press.
- [Lis70] Lisker, L. (1970) Supraglottal air pressure in the production of English stops. *Language and Speech* 13: 215-292.
- [Mül80] Müller, E. & Brown, W. (1980) Variation in the supraglottal air pressure waveform and their articulatory interpretation. N.J. Lass (ed.) *Speech and Language: Advanced in Basic Research and Practice*. Academic Press, NY. Vol. 4: 317-389
- [Odi87] Odisho, E.Y. (1987) Comments on arabic Mufaxxama and pharyngeal sounds. *Journal of Syrian Academy* 4: 1-11.
- [Pin86] Pinkerton, S. (1986). Quichean (Mayan) glottalized and nonglottalized stops: A phonetic study with implications for phonological universals. In J.J. Ohala & J.J. Jaeger (eds.) *Experimental Phonology*. Academic Press, Orlando: 125-139.
- [Tes95] Teston, B. & Galino, B. (1995) A diagnostic and rehabilitation aid workstation for speech and voice pathologies. *4th Eurospeech 95 Proceedings* : 1883-1886.
- [Zer00] Zeroual, C. (2000) *Propos controversés sur la phonétique et la phonologie de l'arabe marocain*. Thèse de Doctorat, Université Paris8.